(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

UO‘K: 669.24/.29 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.9

TEXNOGEN ERITMALARDAN NOYOB METALLARNI AJRATIB OLISH IMKONIYATLARINI TADQIQ ETISH

Hojiyev Shohruh Toshpo‘latovich

Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali “Metallurgiya” kafedrasi PhD., dotsent, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: hojiyevshohruh@yandex.ru
ORCID ID: 0000-0001-8880-0878

Karshiboyev Sherzod Begmaxamat o‘g‘li

Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali “Metallurgiya” kafedrasi mudiri. PhD., dotsent, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: karshiboev.sherzod@gmail.com
ORCID ID: 0009-0004-8097-0804

Xudoymuratov Shuxratjon Jumaboyevich

Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali “Metallurgiya” kafedrasi assistenti, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: shukhratkhudoymuratov@gmail.com
ORCID ID: 0009-0008-5360-3039

Mutalibxonov Saida’loxon Saidolimxonovich

Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali “Metallurgiya” kafedrasi assistenti, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: mutalibkhonov1990@gmail.com
ORCID ID: 0009-0003-1300-3411

Annotatsiya. *Ushbu tadqiqotda “Olmaliq KMK” AJ Mis eritish zavodida texnologik gazlarni yuvish natijasida hosil bo‘lgan texnogen eritmalardan disprosiy (Dy), molibden (Mo) va tellur (Te) kabi noyob metallarni selektiv ajratib olish imkoniyatlari termodinamik asosda baholandi. Har bir metall uchun potensial–pH (E–pH) diagrammalari FactSage dasturi yordamida shakllantirildi va barqaror fazalar aniqlandi. Tahlillar Dy ni ishqoriy muhitda (pH>7,5) Dy_2O_3 shaklida, Te ni oksidlovchi neytral sharoitda (pH=5–8, E=0,5–0,7 V) TeO_2 ko‘rinishida va Mo ni pH=5–9 oralig‘ida (E=0,0–0,5 V) MoO_2 sifatida ajratish mumkinligini ko‘rsatdi. Har bir element uchun cho‘kma faza xususiyatlari va raqobatdosh ionlarning ta’siri o‘rganilib, selektiv ajratish uchun optimal sharoitlar belgilandi. Xususan, niqoblovchi reagentlar (EDTA, sitrat) yordamida Dy ning selektivligi oshirilishi, oksidlovchi kuchni boshqarish orqali Te ni birinchi bosqichda ajratish, hamda fazaviy farqlardan foydalanib Mo ni boshqa metallar fonida cho‘ktirish mumkinligi asoslab berildi. Tadqiqot natijalari texnogen eritmalardan iqtisodiy jihatdan ahamiyatli komponentlarni samarali ajratib olish va chiqindisiz texnologiyalarni ishlab chiqish yo‘nalishida muhim ahamiyat kasb etadi.*

Kalit so‘zlar: *texnogen eritmalar, noyob metallar, selektiv cho‘ktirish, potensial–pH diagrammasi, termodinamik tahlil, FactSage dasturi, ikkilamchi resurslardan foydalanish.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ РАСТВОРОВ

Ходжиев Шохрух Тошпулатович

Кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета, Алмалык, Узбекистан

Каршибоев Шерзод Бегмахамат угли

Заведующий кафедрой металлургии Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета, кандидат технических наук, доцент, Алмалык, Узбекистан

Худоймуратов Шухратжон Джумабоевич

Доцент кафедры металлургии Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета, Алмалык, Узбекистан

Муталибханов Саидалохон Саидолимханович

Доцент кафедры металлургии Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета, Алмалык, Узбекистан

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

Аннотация. *В данной работе на термодинамической основе оценена возможность селективного разделения редких металлов, таких как диспрозий (Dy), молибден (Mo) и теллур (Te), из техногенных растворов, образующихся в результате промывки технологических газов на медеплавильном заводе АО «Алмалыкский ГМК». С помощью программы FactSage построены диаграммы потенциал–pH (E–pH) для каждого металла и выявлены устойчивые фазы. Анализы показали, что Dy может быть разделен в щелочной среде (pH>7,5) в виде Dy_2O_3, Te в окислительно-нейтральной среде (pH=5–8, E=0,5–0,7 В) в виде TeO_2, а Mo в диапазоне pH=5–9 (E=0,0–0,5 В) в виде MoO_2. Для каждого элемента изучены свойства осажденной фазы и влияние конкурирующих ионов, определены оптимальные условия селективного разделения. В частности, показано, что селективность Dy можно повысить, используя маскирующие реагенты (ЭДТА, цитрат), Te можно отделить на первой стадии, контролируя окислительную способность, а Mo можно осадить на фоне других металлов, используя фазовые различия. Результаты исследований имеют большое значение в направлении эффективного выделения экономически важных компонентов из техногенных растворов и разработки безотходных технологий.*
Ключевые слова: *техногенные растворы, редкие металлы, селективное осаждение, диаграмма потенциал-pH, термодинамический анализ, программа FactSage, использование вторичных ресурсов.*

RESEARCH ON THE POSSIBILITIES OF EXTRACTING RARE METALS FROM TECHNOGENIC SOLUTIONS

Khojiev Shokhrukh Toshpulatovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metallurgy of the Almalyk branch of the Tashkent State Technical University, Almalyk, Uzbekistan

Karshiboyev Sherzod Begmaxamat ugli
Head of the Department of Metallurgy of the Almalyk branch of the Tashkent State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Almalyk, Uzbekistan

Khudoymuratov Shukhratjon Jumaboevich
Associate Professor, Department of Metallurgy, Almalyk Branch of Tashkent State Technical University, Almalyk, Uzbekistan

Mutalibkhonov Saidalokhon Saidolimkhonovich
Associate Professor, Department of Metallurgy, Almalyk Branch of Tashkent State Technical University, Almalyk, Uzbekistan

Abstract. *In this study, the possibility of selective separation of rare metals such as dysprosium (Dy), molybdenum (Mo) and tellurium (Te) from technogenic solutions formed as a result of washing process gases at the copper smelter of the Almalyk MMC JSC was evaluated on a thermodynamic basis. Potential–pH (E–pH) diagrams for each metal were generated using the FactSage program, and stable phases were identified. The analyses showed that Dy could be separated in an alkaline medium (pH>7.5) as Dy_2O_3, Te in an oxidizing neutral environment (pH=5–8, E=0.5–0.7 V) as TeO_2, and Mo in the pH range 5–9 (E=0.0–0.5 V) as MoO_2. The properties of the precipitated phase and the effect of competing ions were studied for each element, and the optimal conditions for selective separation were determined. In particular, it was demonstrated that the selectivity of Dy can be increased by using masking reagents (EDTA, citrate), Te can be separated in the first stage by controlling the oxidizing power, and Mo can be precipitated against the background of other metals using phase differences. The results of the research are of great importance in the direction of efficient separation of economically important components from technogenic solutions and the development of waste-free technologies.*
Keywords: *technogenic solutions, rare metals, selective precipitation, potential-pH diagram, thermodynamic analysis, FactSage program, use of secondary resources.*

Kirish. Zamonaviy metallurgik sanoatda ishlab chiqarish jarayonlari natijasida katta miqdorda texnologik eritmalar, ya’ni metallarga boy suyuq chiqindilar hosil bo‘ladi. Ushbu eritmalar tarkibida ba’zida juda past konsentratsiyalarda bo‘lsa-da, iqtisodiy va strategik ahamiyatga ega bo‘lgan noyob va qimmatbaho metallar (NQM) – platina guruhi metallar (PGM), oltin, kumush, reniy,

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

germaniy, indiy, iridiy va boshqalar mavjud bo‘ladi [1]. Ularni qayta ishlash va ajratib olish nafaqat iqtisodiy jihatdan foydali, balki ekologik barqarorlikni ta’minlash nuqtayi nazaridan ham muhim ahamiyat kasb etadi [2].

So‘nggi yillarda ilm-fan va texnologiyalarning rivojlanishi natijasida texnologik eritmalardan NQMni ajratib olishning yangi va samarali usullari ishlab chiqildi. Jumladan, gidrometallurgik jarayonlar, ion almashinish, suyuqlik–suyuqlik ekstraksiyasi, ionli suyuqliklar yordamida ajratish, shuningdek, elektrokimyoviy cho‘ktirish kabi usullar amaliyotda keng qo‘llanilmoqda [3].

Masalan, Zhuang va hammualliflar (2022) tomonidan taklif etilgan gibrid gidrometallurgik yondashuv misolida eritmalardan platina guruhidagi metallarni deyarli to‘liq ajratib olishga erishilgan [4]. Bai va boshqalar (2022) esa qutbli aprotik erituvchilar yordamida selektiv ekstraksiya mexanizmini asoslab bergan [5]. Shuningdek, ionli suyuqliklar asosidagi ekstraksiya (Lee va boshq., 2022) ekologik xavfsiz va yuqori tanlab olish qobiliyatiga ega bo‘lib, an’anaviy organik erituvchilarga samarali alternativ hisoblanadi [6-8].

Ushbu ilmiy tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, texnologik eritmalarni chuqur tahlil qilish va ulardan qiymatli komponentlarni ajratib olish uchun murakkab va ko‘p bosqichli texnologik yondashuv zarur. Bunda eritma tarkibi, pH, oksidlovchi muhit, kompleks hosil bo‘luvchi reagentlar va cho‘ktirish sharoitlari muhim rol o‘ynaydi [9].

Mazkur ishda metallurgik zavodlardan ajralib chiqadigan texnologik eritmalarni tahlil qilish, ulardan qimmatbaho metallarni ajratib olish uchun optimal texnologik sxemani ishlab chiqish, apparat zanjiri tanlash va ekologik-texnik asoslarini bayon qilish ko‘zda tutilgan.

Mis ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan texnologik gazlar, odatda, yuqori miqdorda oltingugurtli komponentlar – asosan SO_2 (oltingugurt (IV)-oksidi) va SO_3 (oltingugurt (VI)-oksidi) ni o‘z ichiga oladi. Atrof-muhitga zarar yetkazmaslik va ushbu gazlarning iqtisodiy jihatdan samarali qayta ishlanishini ta’minlash maqsadida ular sulfat kislotasi (H_2SO_4) ishlab chiqarish yo‘li bilan utilizatsiya qilinadi. Bu jarayonning muhim bosqichlaridan biri – gazlarni dastlabki bosqichda suv yordamida yuvish bo‘lib, uning natijasida changlarni hamda SO_2 va SO_3 ni o‘z ichiga olgan texnologik eritma hosil bo‘ladi [10].

Mazkur texnogen eritmalar, bir qarashda, asosan kislotalilik manbai sifatida ko‘rilsa-da, ularning tarkibida turli darajadagi og‘ir metallar, nodir elementlar va hatto qimmatbaho metallar mavjud bo‘lishi mumkin. Bunday elementlar, jumladan, Ag (kumush), Sb (surma), Te (tellur), Dy (disprosiy), va boshqa metallar, mis boyitmalarining pirometallurgik qayta ishlanishi, eritilishi va tozalash jarayonlari davomida gazsimon fazaga o‘tib, keyinchalik suv orqali kondensatsiyalanadi. Shu bois, bunday eritmalarni oddiy chiqindi sifatida ko‘rish o‘rniga, ulardan iqtisodiy jihatdan qiymatli komponentlarni ajratib olish imkoniyatlarini o‘rganish dolzarb hisoblanadi [11].

Texnologik gazlarni yuvishdan hosil bo‘lgan texnogen eritmalardan qimmatbaho va nodir metallarni ajratib olish nafaqat ikkilamchi resurslardan foydalanish samaradorligini oshiradi, balki ekologik xavfsizlikni ta’minlashga, korxonaning chiqindisiz ishlab chiqarishga o‘tishiga ham xizmat qiladi. Ushbu tadqiqot shunday eritmalar tarkibini o‘rganish, ulardan iqtisodiy jihatdan ahamiyatli komponentlarni ajratib olish texnologiyalarini ishlab chiqish va baholashga qaratilgan [12].

Tadqiqot obyektlari. Tadqiqotning asosiy obyekti sifatida “Olmaliq KMK” AJ ning Mis eritish zavodida eritish pechlaridan chiqadigan texnologik gazlarni yuvishdan hosil bo‘lgan texnogen eritmalar tanlandi. Shunday eritma namunalaridan birining kimyoviy tarkibi 1-jadvalda taqdim etilgan.

1-jadval.

Texnogen eritmaning kimyoviy tarkibi (mg/l)

№	Element	Konsentratsiyasi, mg/l
2	Sn	205,32
3	S	142,49
4	Cl	119,47
5	Dy	112,39
6	Te	92,04
7	Ni	70,80
8	Pb	21,77
9	Fe	18,67
10	Cu	17,88
11	Zn	17,79
12	Br	16,99
13	Sb	16,55
14	Ag	12,04
17	As	4,27
18	Mo	2,58

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

1-jadval natijalariga ko‘ra, eng yuqori konsentratsiyaga ega elementlar bu: qalay (Sn – 205,32 mg/l), oltingugurt (S – 142,49 mg/l), xlor (Cl – 119,48 mg/l), disprosiy (Dy – 112,40 mg/l) va tellur (Te – 92,04 mg/l).

Og‘ir metallar (masalan: qo‘rg‘oshin – Pb, temir – Fe, mis – Cu, rux – Zn) miqdori nisbatan past (20 mg/l atrofida yoki undan kam), bu esa eritmaning deyarli shaffofligiga mos keladi.

Noyob yer metallaridan biri bo‘lgan disprosiy (Dy) 112,40 mg/l bilan sezilarli darajada yuqori bo‘lib, bu eritmaning texnologik gazlar bilan bog‘liqligini ko‘rsatadi.

As, Sb, Ag, Mo kabi mikrokomponentlar ham mavjud bo‘lib, ularning kontsentratsiyasi 2–16 mg/l oralig‘ida [1-4].

Tadqiqot metodologiyasi. Eritmalarning kimyoviy tarkibini chuqur o‘rganish uchun zamonaviy analitik usullar – atom-absorbsiya spektroskopiyasi (AAS), induktiv ulanishli plazmali massa-spektrometriya (ICP-MS), ion xromatografiyasi va boshqa laboratoriya metodlari qo‘llanildi. Aniqlangan elementlarni ajratib olishda kimyoviy cho‘ktirish, ekstraksiya, ion almashinish va membranali ajratish texnologiyalarining samaradorligi baholandi. Natijalar, ushbu texnogen eritmalarni oddiy chiqindi sifatida emas, balki iqtisodiy qiymatga ega ikkilamchi resurs sifatida ko‘rib chiqish zarurligini isbotladi.

Shu tariqa, texnologik gazlarni utilizatsiya qilish jarayonida hosil bo‘ladigan eritmalardan nodir va qimmatbaho metallarni ajratib olish, bir tomondan, chiqindisiz ishlab chiqarishga xizmat qilsa, ikkinchi tomondan, korxonaning ekologik xavfsizligini oshirib, resurslardan kompleks foydalanishni ta’minlash imkonini beradi.

Texnologik gazlarni yuvishdan hosil bo‘lgan eritmalar tarkibida turli ionlar, jumladan, qimmatbaho (Ag), yarimmetallar (Sb, Te) va nodir metallar (Dy) mavjud bo‘lib, ularning har biri ma’lum sharoitda (pH va elektrokimyoviy potensial) barqaror fazaga o‘tadi yoki cho‘kma hosil qiladi. Shuning uchun ushbu komponentlarni samarali ajratib olishda potensial–pH (E–pH) diagrammalarini tuzish muhim amaliy va nazariy ahamiyatga ega [1].

E–pH diagrammalari (Purbe diagrammalari) ma’lum elementning suvli muhitdagi termodinamik barqarorlik holatini aks ettiradi. Bunday diagrammalar asosida eritmadagi ionlarning qaysi sharoitda erigan ion, qattiq cho‘kma (oksid, gidroksid, sulfid va boshqalar) yoki elementar holatda mavjud bo‘lishi aniqlanadi. Bu esa metallarni selektiv ajratish va cho‘ktirish jarayonlarini nazorat qilishga imkon beradi.

Texnologik eritmalarda bir nechta element ionlari bir vaqtda mavjudligi sababli, ularning o‘zaro kimyoviy ta’sirini hisobga olgan holda optimal pH va elektrod potensial qiymatlarini aniqlash kerak bo‘ladi. Ayniqsa, Ag^{+}, Sb^{3+}, Te^{4+} kabi ionlar noorganik kislotalar yoki oksidlovchi muhit ta’sirida turli oksidlanish darajalarini hosil qilishi mumkin. Shu nuqtayi nazardan, ushbu metallar uchun E–pH diagrammalari asosida cho‘kma hosil bo‘lish chegaralari aniq belgilab olinadi.

Shuningdek, bu diagrammalar ajratish jarayonining ekologik va texnologik xavfsizligini ta’minlashda ham muhim rol o‘ynaydi. Chunki, noto‘g‘ri pH yoki potensial sharoitda xavfli birikmalar (masalan, uchuvchi gidridlar, eriydigan kompleksonlar) hosil bo‘lishi mumkin. E–pH diagrammalar bu kabi noxush holatlarning oldini olishga xizmat qiladi.

Shunday qilib, texnogen eritmalar tarkibidagi qimmatbaho va nodir metallarni samarali va selektiv cho‘ktirish, ularni qayta ishlash texnologiyasini ilmiy asosda rejalashtirish uchun potensial–pH diagrammalarini tuzish zarur va dolzarb hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotda Dy, Mo va Te metallari uchun potensial–pH (E–pH) diagrammalarini shakllantirishda FactSage 8.2 dasturiy kompleksidan foydalanildi. FactSage – termodinamik ma’lumotlar bazasi va faza diagrammalarini avtomatik hisoblash imkoniyatiga ega zamonaviy dasturiy platforma bo‘lib, u metallurgiya, kimyo va materialshunoslik sohalarida keng qo‘llaniladi.

Olingan natijalar va ularning muhokamasi. Texnologik eritmalardan noyob metallarni selektiv ajratish texnologiyalarini ishlab chiqishda ularning suvli muhitdagi termodinamik barqarorlik xususiyatlarini chuqur o‘rganish zarur. Ayniqsa, disprosiy (Dy), molibden (Mo) va tellur (Te) kabi metallar eritma sharoitida turli oksidlanish darajalarida, ion yoki cho‘kma fazalarida mavjud bo‘lishi mumkin. Ularning qaysi sharoitda (ya’ni ma’lum pH va elektrod potensial (E) qiymatlarida) barqaror fazaga o‘tishini oldindan aniqlash selektiv

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

cho‘ktirish jarayonini ilmiy asoslash imkonini beradi.

Diagrammalarni qurishda quyidagi parametrlar hisobga olindi:

1. Tizim: Metall – H_2O (298,15 K haroratda, ya’ni 25°C);

2. Faollik: 1 mol/kg (standart konsentratsiyada);

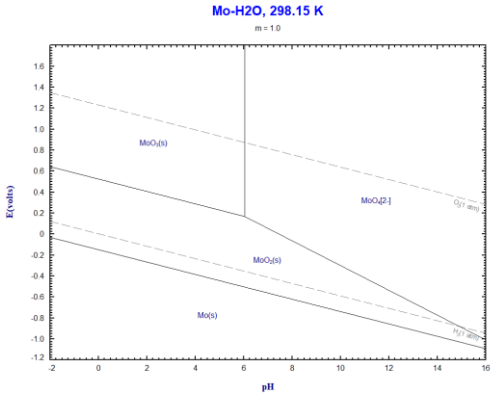
3. Yopiq muhit: 1 atm bosimda, kislorod va vodorod bosimlari standart holatda.

Eritmadagi noyob metallarning potensial-pH diagrammalarini qurishdan maqsad suvli eritmada har bir metalning ion, oksid, gidroksid va metall shakllari mavjudlik chegaralarini aniqlashdir.

Diagrammalarda har bir metall uchun barqaror fazalar (masalan, Dy^{3+} / $Dy_2O_3(q)$, MoO_4^{2-} / $MoO_2(q)$, $Te(OH)_6^{2-}$ / $TeO_2(q)$ / Te(q) va boshqalar) aniqlanib, ularning pH va potensialga bog‘liqligi grafik tarzda ifodalandi. Bu esa, eritma tarkibida mavjud bo‘lgan boshqa metallar ishtirokida har bir komponentni selektiv ajratish imkonini taqdim etdi [3-8].

FactSage dasturidan foydalanish, metallarning murakkab redoks tizimlaridagi xatti-harakatlarini termodinamik nuqtai nazardan model qilishga imkon berdi. Ayniqsa, selektiv cho‘ktirish sharoitlarini aniqlashda yuqori aniqlikdagi potensial-pH chegaralari va barqarorlik zonalari aniqlanishi, texnologik jarayonni optimallashtirishda muhim omil bo‘ldi.

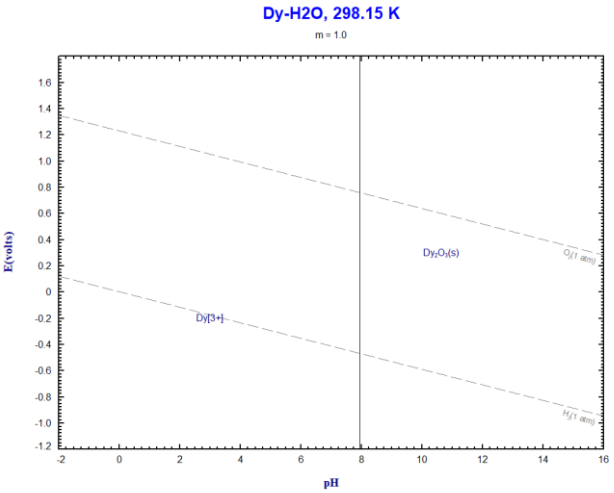
Shunday qilib, mazkur tadqiqotda Dy, Mo va Te elementlari uchun tuzilgan E–pH diagrammalari (1, 2, 3-rasmlar) texnogen eritmalardan ushbu noyob metallarni ilmiy asoslangan selektiv ajratish strategiyasini ishlab chiqishda muhim vosita sifatida xizmat qildi.



1-rasm. Mo-H_2O sistemasi uchun Purbe diagrammasi.

Molibden (Mo) texnogen eritmalarda turli oksidlanish darajasida mavjud bo‘lib, uni cho‘ktirish jarayonida asosan qattiq oksid shakllar (MoO_3, MoO_2) yoki metall holatdagi Mo ajralib chiqishi mumkin. 1-rasmda tasvirlangan diagrammada termodinamik jihatdan barqaror fazalarni inobatga olgan holda, $MoO_3(q)$ cho‘kmasi ~0–5 pH va 0,5–1,2 V elektrod potensial sharoitida, $MoO_2(q)$ esa 5–9 pH va 0,0–0,5 V oralig‘ida hosil bo‘ladi. Mo ni metall holatda ajratish esa faqat kuchli qaytaruvchan muhitda, ya’ni pH>9 va E<–0,2 V sharoitida amalga oshiriladi. Amaliy jihatdan samarali va barqaror ajratish usuli sifatida, molibdenni neytral muhitda (pH=5–9) va taxminan 0 V atrofidagi potensialda $MoO_2(q)$ shaklida cho‘ktirish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Eritma tarkibidagi molibden uchun Purbe diagrammasi 1-rasmda taqdim etilgan.

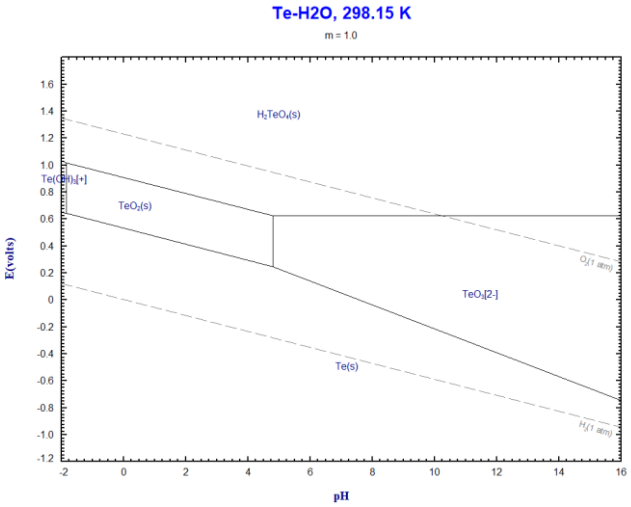


2-rasm. Dy-H_2O sistemasi uchun Purbe diagrammasi.

Disprosiy (Dy) texnogen eritmalarda Dy^{3+} ionlari shaklida mavjud bo‘lib, u ishqoriy muhitda osonlik bilan $Dy_2O_3(q)$ shaklida cho‘kma hosil qiladi. Termodinamik tahlil natijalariga ko‘ra, Dy cho‘kmasi barqaror ravishda pH > 7,5 sharoitda hosil bo‘ladi, elektrod potensial esa bu jarayonga deyarli ta’sir ko‘rsatmaydi (2-rasm). Shuning uchun Dy ni eritmadan ajratib olish uchun pH darajasini 8–10 oralig‘iga ko‘tarish, masalan, NaOH yoki NH_4OH qo‘shish orqali ishqoriy muhit hosil qilish zarur. Bu sharoitda Dy selektiv tarzda $Dy_2O_3(q)$ shaklida ajralib chiqadi va boshqa metallar (masalan, Mo va Te) hali cho‘kma holatiga o‘tmagan bo‘ladi.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

Tellur (Te) texnogen eritmalarda asosan oksidlangan holatda, ya'ni Te^{4+} yoki Te(VI) ionlari sifatida mavjud bo'lib, ularni selektiv ajratish uchun pH 5–8 va 0,5–0,7 V oralig'idagi elektrokimyoviy sharoit optimal hisoblanadi (3-rasm). Ushbu sharoitda TeO_2(q) barqaror fazada hosil bo'ladi. Ayniqsa, eritma muhitiga yengil oksidlovchilar (masalan, H_2O_2) kiritish orqali potensialni kerakli darajada ushlab turish mumkin. TeO_2 cho'kmasi neytralga yaqin pH sharoitida hosil bo'lishi, uni Dy va Mo kabi boshqa metallar bilan ketma-ket ajratish imkonini beradi.



3-rasm. Te-H_2O sistemasi uchun Purbe diagrammasi.

Shunday qilib, Dy, Te va Mo ni eritmadan ketma-ket ajratib olish uchun eritma muhitining pH va potensial darajalarini bosqichma-bosqich boshqarish, har bir element uchun optimal sharoitda cho'ktirish jarayonlarini amalga oshirish orqali selektiv ajratish strategiyasini shakllantirish zarur.

Noyob metallarni eritmadan selektiv ajratish imkoniyatini tahliliy baholash. Disprosiy (Dy) ni texnogen eritmalardan selektiv ajratish imkoniyatini baholash shuni ko'rsatadiki, Dy^{3+} ionlari suvli eritmada barqaror Dy_2O_3 cho'kmasi shaklida faqat pH > 7,5 sharoitida ajraladi. Biroq, ishqoriy muhitda boshqa ionlar – jumladan, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Ni^{2+} va Fe^{3+} kabi og'ir metallar ham o'zlariga xos gidroksid cho'kmalarini hosil qilishi mumkin. Bu esa Dy ni boshqa metallar fonida selektiv ajratish jarayonini murakkablashtiradi.

Tahliliy yondashuvga ko'ra, pH=8–9 oralig'ida Dy bilan bir vaqtda yuqoridagi og'ir metallar ham qisman cho'kishi ehtimoli mavjud. Shu sababli selektivlikni ta'minlash uchun oldindan ekstraksiya qilish yoki eritmaga niqoblovchi reagentlar (masalan, EDTA, sitrat kislotasi) qo'shish tavsiya etiladi. Bu reagentlar og'ir metallar bilan kompleks hosil qilib, ularni eritmada bog'langan holatda ushlab turadi. Natijada Dy^{3+} ionlari tanlab ajralib chiqishi va Dy_2O_3 shaklida cho'kishi uchun zarur sharoitlar hosil qilinadi. Shunday yondashuv Dy ni boshqa ionlardan selektiv ajratib olish imkonini sezilarli darajada oshiradi.

Tellurni (Te) texnogen eritmadan selektiv ajratib olish jarayonida u suvli muhitda asosan pH 5–8 va 0,5–0,7 V elektrokimyoviy potensial oralig'ida TeO_2 shaklida cho'kadi. Biroq, ushbu oksidlovchi sharoitlarda Sn(IV), Sb(III), Fe(III) va Ag(I) kabi boshqa ionlar ham cho'kma hosil qilishi mumkin bo'lgan fazalarda mavjud bo'ladi. Bu esa Te ning selektiv ajratilishiga raqobatdosh ta'sir ko'rsatadi.

Bunday holatda oksidlanish-qaytarilish potensiallari farqi asosida bosqichli ajratish strategiyasini qo'llash mumkin. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, TeO_2 ning barqaror fazasi Ag va Sb oksidlariga nisbatan pastroq potensialda shakllanadi. Shu sababli eritmadagi oksidlovchi kuchni nazorat ostida ushlab turish, xususan, H_2O_2 kabi oksidlovchi reagent miqdorini ehtiyotkorlik bilan sozlash orqali tellurni boshqa metallar cho'kmasi hosil bo'lishidan oldin ajratib olish mumkin bo'ladi. Bunday yondashuv Te ni yuqori selektivlik bilan ajratish imkonini beradi va keyingi bosqichlarda boshqa elementlar bilan to'g'ri ishlashga zamin hozirlaydi [6, 8, 10].

Molibden (Mo) texnogen eritmalarda odatda Mo^{6+} ionlari shaklida mavjud bo'lib, u pH=5–9 va 0,0–0,5 V oralig'idagi elektrokimyoviy sharoitda MoO_2 ko'rinishidagi oksid cho'kmasi sifatida ajraladi. Shu bilan birga, ushbu pH muhitida temir (Fe), rux (Zn) va qo'rg'oshin (Pb) kabi og'ir metallar ham gidroksid shaklida cho'kma hosil qilishi mumkin. Bu esa Mo ni selektiv ajratish jarayonida ayrim murakkabliklar tug'diradi.

Biroq, bu metallar orasidagi fazaviy farq – ya'ni Mo oksid shaklida, boshqa metallar esa ko'pincha gidroksid shaklida cho'kishi – selektiv ajratish uchun muhim imkoniyat tug'diradi. Ushbu farqdan foydalangan holda fazaviy tanlab olish yondashuvi orqali MoO_2 ni eritmadan boshqa

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

metallar cho‘kmalaridan ajratib olish mumkin. Natijada, molibdenni barqaror va aniq sharoitda, boshqa metallar ishtirokini minimallashtirgan holda samarali ajratish imkoni hosil qilinadi.

Xulosa. O‘tkazilgan tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, mis eritish texnologiyasi natijasida hosil bo‘ladigan texnogen eritmalar tarkibida Dy, Mo va Te kabi noyob metallar mavjud bo‘lib, ularni selektiv ajratib olish imkoniyati mavjud va ilmiy asosda asoslanadi. Har bir element uchun potensial–pH diagrammalari asosida eng qulay cho‘ktirish sharoitlari aniqlanib, texnologik jihatdan qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan optimal pH va elektrokimyoviy potensial oralig‘i belgilandi [8-9].

Dy ni pH>7,5 da Dy_2O_3 shaklida, Te ni pH=5–8 va E=0,5–0,7 V sharoitda TeO_2 holatida, Mo ni esa pH=5–9 va E=0,0–0,5 V oralig‘ida MoO_2 shaklida ajratish mumkinligi isbotlandi. Biroq, eritma tarkibida mavjud bo‘lgan boshqa og‘ir metallar (Fe, Zn, Cu, Ag, Sb va boshqalar) bilan ionlararo raqobat selektivlikka to‘sqinlik qilishi mumkin. Shu sababli selektiv ajratish samaradorligini oshirish uchun bir qator yondashuvlar – jumladan, niqoblovchi reagentlardan foydalanish, oksidlovchi muhitni nazorat qilish hamda cho‘kma fazalar orasidagi farqlarga asoslangan filtratsiya texnologiyalarini qo‘llash tavsiya etiladi.

Natijada, texnogen eritmalarni chuqur tahlil qilish va ulardan noyob metallarni ajratib olish orqali ikkilamchi xomashyo manbalaridan foydalanish darajasini oshirish, chiqindisiz texnologiyalarga o‘tish va ekologik xavfsizlikni ta’minlash imkoniyatlari kengayadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Khojiev, S.T. Processing of copper slag using waste tires // Metallurgist. – 2025. – T. 68. – № 8. – P. 1-10.
2. Hou Y., Yu J., Zheng D., Xu J., Ma G., Khojiev S., Kadirov N. Preparation and chromatic performance of black ceramic tiles from chromium slag, copper slag and silicon manganese slag // Journal of Ceramic Processing Research. – 2025. – T. 26. – № 1. – P. 139 - 147.
3. Kholikulov D., Khojiev Sh., Khaydaraliev Kh., Boltayev O., Khujayev T., Abdiev O., Yusupov A. Application of ozone for the treatment of process solutions and wastewater in copper production // International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics. – 2025. – T. 1. – № 19. – P. 193-197.
4. Zhuang, M., Zhang, H., Li, X., Zheng, S., Li, L. An innovative hybrid hydrometallurgical approach for precious metals recovery // *Journal of Environmental Management*. – 2022. – Vol. 311. – Article 114780. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.114780.
5. Bai, L., Lv, J., Peng, S., Yu, H., Xu, J., Wang, X. Selective extraction of precious metals in the polar aprotic solvent // *Waste Management*. – 2022. – Vol. 145. – P. 244–251. – DOI: 10.1016/j.wasman.2022.04.027.
6. Wenda, A., Wenda, D. Solvent extraction as a method of recovery and separation of platinum group metals // *Materials*. – 2023. – Vol. 16, № 12. – Article 4208. – DOI: 10.3390/ma16124208.
7. Dvořák, M., Kukurugya, F., Orac, D. Precipitation of precious metals concentrates from post-elution solutions from ion-exchange processes // *Minerals*. – 2024. – Vol. 14, № 6. – Article 625. – DOI: 10.3390/min14060625.
8. Lee, J.-C., Lee, K.-S., Kim, S.-K. Ionic liquids-assisted solvent extraction of precious metals from chloride solutions // *Solvent Extraction and Ion Exchange*. – 2022. – Vol. 40, № 5. – P. 463–478. – DOI: 10.1080/07366299.2022.2091458.
9. Esposito, G., Cimini, S., De Michelis, I., Vegliò, F. Optimization of sustainable processes for the extraction of precious metals from WEEE // *Chemical Engineering Transactions*. – 2024. – Vol. 111. – P. 607–612. – DOI: 10.3303/CET2411102.
10. Khojiev Sh.T., Toshpulatov A.A., Kenjaeva S.A., Khudoymuratov Sh.J. Investigating the exothermic oxidation of molybdenum dioxide: thermodynamic insights and reaction dynamics // “Kimyo sanoatining dolzarb muammolari, innovatsion yechimlari va istiqbollari” nomli xalqaro ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Olmaliq, 1-2 noyabr, 2024 y. S. 290-291.